คู่มือการบำบัดน้ำเสีย อย่างเป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อมด้วย เครื่องจักรชีวภาพ

ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท ทุนวิจัยนวมินทร์ ด้าน
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (ดิน น้ำ ป่าไม้) สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2553

สารบัญ

คำนำ	1
บทนำ	2
สาเหตุความสกปรกของน้ำ	4
ผลกระทบของน้ำสีย	8
ลักษณะของน้ำเสีย	10
แนวพระราชดำริเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย	14
การบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ	18
ขั้นตอนการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ	23
ขั้นตอนการเตรียบระบบ	31
วัสดุและราคาในการสร้างเครื่องจักรชีวภาพ	33
ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ	35
กลไกการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ	36
ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรชีวภาพ	37
ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องจักรชีวภาพ	39
สรุป	40
บรรณานุกรม	42

คำนำ

ปัจจุบัน ปัญหามลพิษทางน้ำได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น การเพิ่มของจำนวนประชากร ทำให้มีกิจกรรมต่างๆ เช่น กิจกรรมด้านการท่องเที่ยว การเกษตร การประมง การคมนาคม และอุตสาหกรรม ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสีย และหากไม่มีการจัดการน้ำเสียอย่างถูกวิธีและเหมาะสม ก็ย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ได้ จากการศึกษาแนวพระราชดำริ และทฤษฎีธรรมชาติของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสียได้สารอนินทรีย์ หรือธาตุอาหารพืช ด้วยทฤษฎีธรรมชาติดังกล่าว องค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทรงมีพระราชดำริในการดำเนินการด้านการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยอาศัยหลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ อีกทั้งได้ทรงชี้แนะว่าการดำเนินการดังกล่าวเป็นการนำเทคโนโลยีอย่างง่ายๆ ที่ใครๆ ก็สามารถทำได้ และสามารถใช้วัสดุในท้องถิ่นมาก่อสร้าง

การบำบัดน้ำเสียเครื่องจักรชีวภาพ (Biomachine) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ได้น้อมนำพระราชดำริมาสืบสาน ปรับใช้ และเพื่อขยายผลสู่สังคมอย่างเป็นรูปธรรม เป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ใช้สารเคมี จึงไม่เป็นอันตราย ไม่มีสารพิษตกค้าง ใช้เทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อนใช้พื้นที่ และพลังงานน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบการบำบัดอื่น โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากเงินอุดหนุนการวิจัย ประเภททุนวิจัยนวมินทร์ งบประมาณปี 2553 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนทั่วไป หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในการที่จะร่วมมือกันแก้ไขและลดปัญหามลพิษทางน้ำ

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิต กล่าวคือใช้เพื่ออุปโภค บริโภค เกษตรกรรม อุตสาหกรรม คมนาคม และเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น แต่จากการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวของชุมชนเมือง การทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะเสื่อมโทรม และเน่าเสีย โดยเห็นได้จากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันของแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ลำคลอง คู คลอง ต่างมีลักษณะเหมือนที่ทิ้งขยะ และสิ่งปฏิกูล ก่อให้เกิดความรำคาญแก่ผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำนั้น นอกจากนี้ประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณแหล่งน้ำที่เน่าเสีย ยังมีโอกาสเกิดโรคต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหาร เช่น โรคท้องร่วง และอาจทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นมีสุขภาพจิตเสื่อมโทรมลง ปัญหาน้ำเน่าเสียนอกจากจะเกิดผลกระทบต่อมนุษย์แล้ว ยังทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำตายและลดจำนวนลง เนื่องจากเมื่อน้ำเสียทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้นขาดออกซิเจนในการนำไปใช้ในการดำรงชีวิต โดยพบว่าปัจจุบันสถานการณ์ของแม่น้ำ ลำคลองและแหล่งน้ำต่างๆ ทั่วประเทศกำลังเผชิญกับปัญหาความเสื่อมโทรม ทำให้ร้อยละ 33 เป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพเสื่อมโทรม ร้อยละ 36 เป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพพอใช้ และมีร้อยละ 31 เป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)

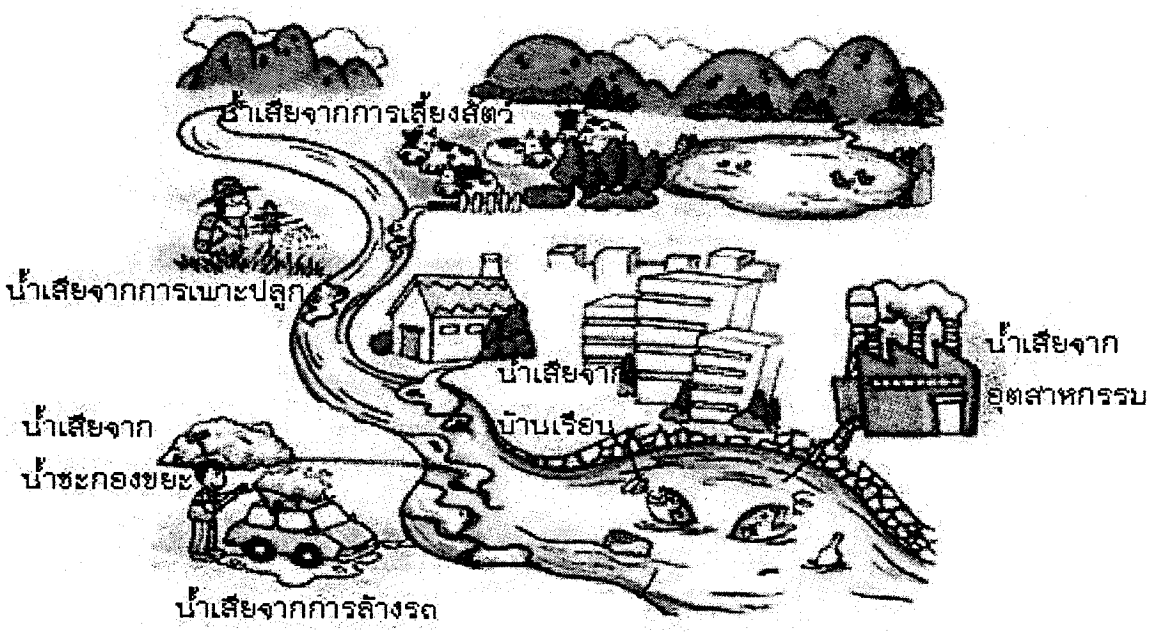
ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพเหมาะสมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ปัจจุบันพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่ ใช้พื้นที่และงบประมาณในการลงทุนสร้างระบบสูง สิ้นเปลืองวัสดุ พลังงาน และสารเคมี จากการศึกษาแนวพระราชดำริ และทฤษฎีธรรมชาติของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสียได้สารอนินทรีย์ หรือธาตุอาหารพืช ด้วยทฤษฎีธรรมชาติดังกล่าว องค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทรงมีพระราชดำริในการดำเนินการด้านการ

บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยอาศัยหลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ (สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2549) ปัจจุบันมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น การวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียทั้งน้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากการทำเหมืองแร่ (Vymazal,J., 2002) อย่างไรก็ตามระบบบึงประดิษฐ์มีข้อจำกัดที่ใช้พื้นที่มาก และอาจมีการรบกวนของยุงและแมลง

จากพระราชดำริในการดำเนินการด้านการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยอาศัยหลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ อีกทั้งได้ทรงชี้แนะว่าการดำเนินการดังกล่าวเป็นการนำเทคโนโลยีอย่างง่ายๆ ที่ใครๆ ก็สามารถทำได้ และสามารถใช้วัสดุในท้องถิ่นมาก่อสร้าง ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียเครื่องจักรชีวภาพ (Biomachine) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ได้น้อมนำพระราชดำริมาสืบสาน ปรับใช้ และเพื่อขยายผลสู่สังคมอย่างเป็นรูปธรรม เป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ใช้สารเคมี จึงไม่เป็นอันตราย ไม่มีสารพิษตกค้าง ใช้เทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อนใช้พื้นที่ และพลังงานน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบการบำบัดอื่น

สาเหตุของความสกปรกของน้ำ

ในอดีตที่ผ่านมาคนไทยนิยมตั้งบ้านเรือนอยู่ริมน้ำ มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค และระบายน้ำเสียเหล่านั้นกลับสู่แหล่งน้ำ แต่คุณภาพของแหล่งน้ำก็ยังไม่เสื่อมโทรมอย่างเห็นได้ชัดเหมือนในปัจจุบัน เนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นยังมีปริมาณน้อย ทำให้ธรรมชาติสามารถฟอกตัวเองได้ แต่ปัจจุบันปริมาณน้ำเสียที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะมีปริมาณมากขึ้น จนทำให้ธรรมชาติไม่สามารถฟอกตัวเองได้ ส่งผลให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมจนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้



รูปที่ 1 สาเหตุความสกปรกของแหล่งน้ำ

ที่มา: www.eng.go.kr

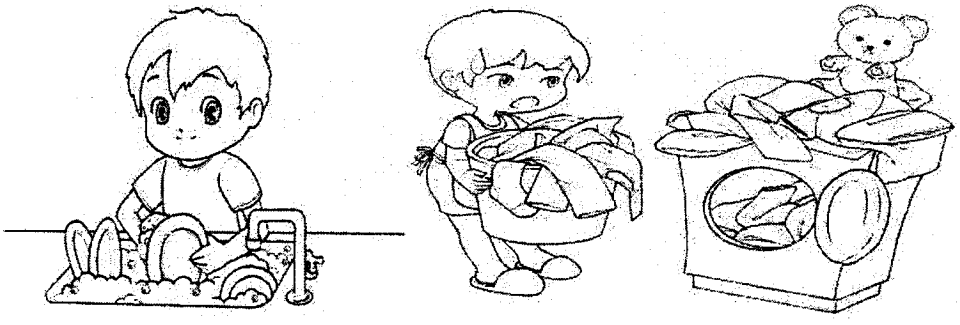
แหล่งกำเนิดน้ำเสีย เกิดได้จากหลายกิจกรรม ซึ่งแต่ละกิจกรรมจะมีปริมาณและลักษณะของน้ำเสียแตกต่างกัน และก่อให้เกิดผลกระทบที่แตกต่างกันด้วย

กิจกรรมหลักที่ทำให้เกิดน้ำเสีย แบ่งเป็น 3 กิจกรรม ได้แก่ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม

น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน หมายถึงน้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน อาคาร ที่พักอาศัย โรงแรม โรงพยาบาล ร้านค้า อาคารสำนักงาน เป็นต้น และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำหรือแหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้น หรือสะอาดก่อน

น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การอาบน้ำ การซักผ้า การล้างจาน เป็นต้น



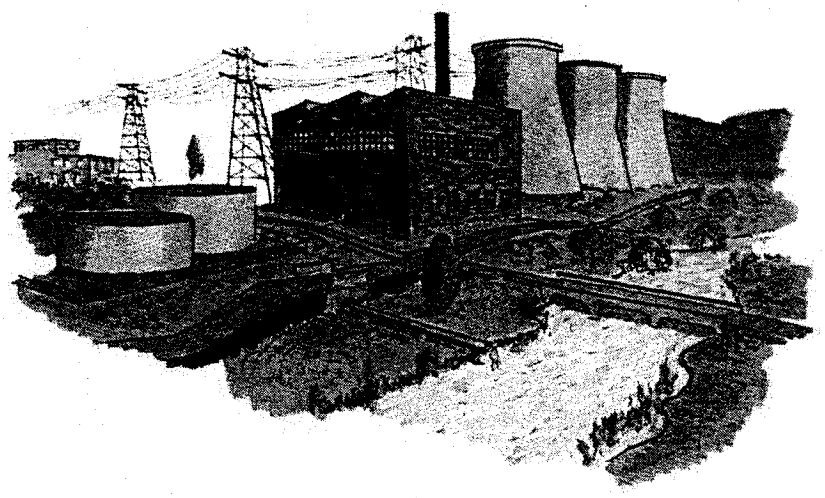
รูปที่ 2 น้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การล้างจาน ซักผ้า ล้างรถ

โดยปริมาณการใช้น้ำนั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ปริมาณร้อยละ 200 ลิตร/คน/วัน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำเสีย ประมาณร้อยละ 80 หรือประมาณ 160 ลิตร/คน/วัน

น้ำเสียจากอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากอุตสาหกรรม หมายถึง น้ำที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม เริ่มตั้งแต่การล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การล้างวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องจักรกล ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน ส่งผลให้น้ำดีที่ใช้แล้วกลายเป็นน้ำเสีย ลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมนั้นจะแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม

องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ จะมีสิ่งสกปรกเจือปนทั้งในรูปของสารอินทรีย์ เช่นเศษอาหาร เชื้อโรค และสารอนินทรีย์ เช่นสารพิษ สารเคมี และโลหะหนัก เป็นต้น

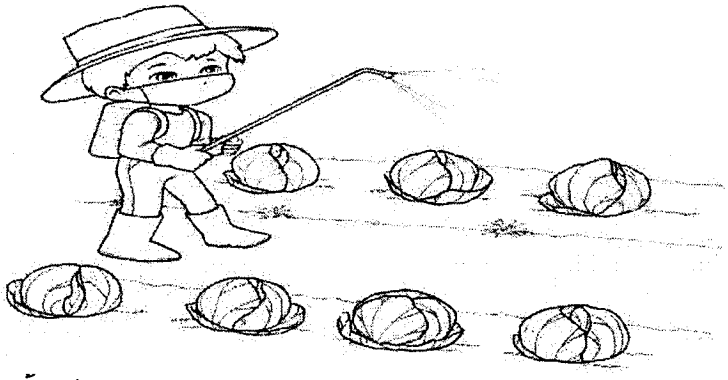


รูปที่ 3 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม
ที่มา: www.ceroi.net

น้ำเสียจากเกษตรกรรม

น้ำเสียจากเกษตรกรรม หมายถึง น้ำที่เกิดจากกิจกรรมทางเกษตร ซึ่งแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินได้เป็น การเพาะปลูก ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้ จะมีสิ่งเจือปนทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ขึ้นกับลักษณะการใช้ประโยชน์ หากเป็นน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีจะพบสารประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีทางการเกษตร เช่นยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช เมื่อเกิดฝนตกก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก



รูปที่ 4 น้ำเสียจากการเกษตรกรรม

ผลกระทบของน้ำเสีย

เมื่อน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ เสื่อมคุณภาพ เนื่องจากถูกปนเปื้อนด้วยมลสาร ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้น้ำสำหรับอุปโภค บริโภค และกิจกรรมต่างๆ ตลอดจนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ระบบสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น การเกษตรกรรม การประมง การสาธารณสุข การอุตสาหกรรม การคมนาคม เป็นต้น

(1) ผลกระทบต่อการเกษตรกรรม

- การกสิกรรม น้ำเสียที่มีการปล่อยทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยไม่ได้ผ่านการบำบัด จะมีลักษณะที่มีความเป็นกรดด่างค่อนข้างสูง มีปริมาณเกลืออนินทรีย์หรือสารเป็นพิษสูง ทำให้แหล่งน้ำมีสมบัติไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และเลี้ยงสัตว์
- การประมง มลสารที่ปนเปื้อนในน้ำอาจมีผลต่อการดำรงชีวิต และแพร่พันธุ์ตามธรรมชาติของสัตว์น้ำต่างๆ ในกรณีที่น้ำเสียมีสารพิษเจือปน อาจมีผลทำให้สัตว์น้ำตายในทันที ส่วนในกรณีที่น้ำเสียมีปริมาณออกซิเจนลดลง ทำให้พืชและสัตว์น้ำเล็กๆ ที่เป็นอาหารของปลา และตัวอ่อนลดลง ทำให้ปลาขาดอาหารและลดจำนวนลง นอกจากนี้สารพิษที่สะสมทำให้สัตว์น้ำมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการบริโภค

(2) ผลกระทบต่อสาธารณสุข

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารเจือปน หรือสารพิษปนเปื้อน จะทำให้เกิดโรค และทำลายสุขภาพของประชาชนทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม เช่น โรคมินามาตะ (minamata) เกิดจากคนที่รับประทานปลาที่มีสารปรอทสูง ผู้ป่วยมีอาการเกี่ยวกับประสาท มือเท้าชา ถ้าเป็นมากๆ อาจถึงตาย โรคอิไตอิไต (itai-itai) เกิดจาก

การบริโภคน้ำที่มีสารแคดเมียมปนเปื้อน รวมไปถึงโรคระบาดต่างๆ เช่น อหิวาต์ ไข้ไทฟอยด์ และโรคบิด

(3) ผลกระทบต่ออุตสาหกรรม

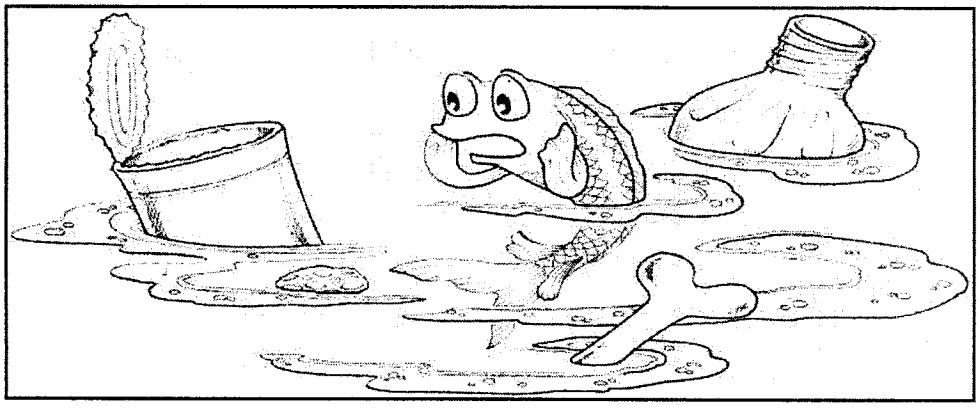
น้ำเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าแหล่งน้ำมีคุณภาพไม่เหมาะสม เช่นมีความขุ่นสูง มีความเป็นกรด-ด่าง และมีความกระด้างสูง ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อน ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่ม

(4) ผลกระทบต่อการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

คุณภาพของแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่ลดลง โดยพบว่าในแหล่งน้ำนิ่ง จะพบสาหร่ายบางชนิดที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดปัญหาต่อกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยเฉพาะสาหร่ายพืช (microcystis aeruginosa) ที่สร้างพิษไมโครซิสทิน ก่อให้เกิดตับอักเสบ และเร่งการเกิดมะเร็งในตับ โดยตามมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดว่า ปริมาณสารพิษไมโครซิสทิน มาตรฐานสำหรับน้ำดิบเพื่อการประปาให้มีค่าไม่เกิน 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร และปริมาณเซลล์สาหร่ายชนิดนี้ต้องไม่เกิน 15,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร จะมีผลกระทบต่อการผลิตน้ำประปา ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น ในการทำให้น้ำมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำดื่ม และเมื่อมีแหล่งน้ำเสียเพิ่มขึ้น ทำให้การเลือกแหล่งน้ำ เพื่อการประปายากขึ้น

(5) ผลกระทบต่อทัศนียภาพ

สภาพน้ำเสียต่างๆ ที่เกิดตามแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพและแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ



ลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสีย คือน้ำที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูง ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จำแนกลักษณะน้ำเสียได้ 3 ประเภทคือ ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

(1) ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย ประกอบด้วยสี กลิ่น อุณหภูมิ ของแข็งต่างๆ ความขุ่น และความหนาแน่น

- สี (color) สีของน้ำเสีย แสดงให้เห็นสภาพของน้ำเสียได้อย่างชัดเจน น้ำเสียชุมชนที่เกิดใหม่จะมีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อเวลาผ่านไป จะเปลี่ยนเป็นสีเทา สีเทาแก่ และในที่สุดจะเป็นสีดำ เนื่องจากการย่อย

สลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาจมีสีต่างๆ ขึ้นกับประเภทของอุตสาหกรรม

- กลิ่น (odor) น้ำเสียเกิดจากการย่อยแบบไม่มีอากาศ จะมีกลิ่นที่รุนแรงกว่าน้ำเสียที่เกิดใหม่ เนื่องจากผลการย่อยสลายแบบไม่มีออกซิเจน ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)
- อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของน้ำเสียมีความสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในน้ำเสีย และต่อชีวิตของพืช และสัตว์น้ำ และออกซิเจนจะละลายในน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อปฏิกิริยาทางชีวภาพในน้ำเสีย น้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม อาจมีปริมาณมากและมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้น้ำเสียของชุมชนมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย โดยปกติอุณหภูมิของน้ำเสียที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-35 $^{\circ}C$
- ของแข็งต่างๆ (solids)
    - ของแข็งที่ตกตะกอนได้เอง (settleable solides) เป็นของแข็งในน้ำเสียที่ใส่ไว้ในภาชนะรูปกรวย (imhoff cone) เป็นเวลา 60 นาที แล้วจะตกตะกอนลงสู่ก้นภาชนะ
    - ของแข็งแขวนลอย (suspended solid) เป็นของแข็งที่ลอยตัวอยู่ในน้ำเสียไม่ตกตะกอน มีขนาดใหญ่กว่า 1-1.2 ไมครอน แยกออกโดยการกรองด้วยกระดาษกรองที่มีรูขนาด 1-1.2 ไมครอน
    - ของแข็งละลายน้ำ (dissolved solid) เป็นของแข็งที่อยู่ในน้ำเสียในรูปของสารละลาย

- ความขุ่น (turbidity) เป็นความสามารถในการยอมให้แสงผ่านของน้ำเสีย เกิดจากการมีสารแขวนลอย และคอลลอยด์ ในน้ำเสีย

(2) ลักษณะน้ำเสียทางเคมี

ลักษณะน้ำเสียทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ สารอินทรีย์ ไขมัน สารซักฟอก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ ตะกอนโลหะหนัก

- มีค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่าพีเอช (pH) สูงหรือต่ำจนเกินไป ค่าพีเอชเป็นค่าที่บอกความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสีย ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 โดยที่พีเอช 7 แสดงว่าน้ำเป็นกลาง ถ้ามีค่าต่ำกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด ถ้ามีค่าสูงกว่า 7 แสดงว่าเป็นด่าง สิ่งมีชีวิตในน้ำโดยทั่วไปจะดำรงชีพอยู่ได้ดีในสภาวะเป็นกลางที่พีเอชประมาณ 6-8
- มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ หรือค่าดีโอน้อย (dissolved oxygen) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์น้ำ ถ้าค่าดีโอสูงแสดงว่าน้ำมีคุณภาพดี ถ้าค่าดีโอต่ำ แสดงว่าน้ำเสีย เพราะออกซิเจนถูกจุลินทรีย์ใช้ไปในการย่อยสลายสารสกปรก หรือสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
- มีค่าความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ หรือค่าบีโอดีสูง (biochemical oxygen demand) บีโอดีเป็นค่าการวัดความสกปรกของน้ำ หรือเป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ โดยการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในน้ำของแบคทีเรีย เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ถ้าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำสูง แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนเป็นจำนวนมากในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ผลการวัดค่าบีโอดีสูง และค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ

- มีค่าซีโอดีสูง (chemical oxygen demand) ซีโอดีเป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในน้ำ โดยใช้วิธีการย่อยสลายทางเคมี
- มีปริมาณโลหะหนักเกินมาตรฐาน (heavy metal) โลหะหนักเป็นสารพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ เช่น ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) และโครเมียม (Cr) ซึ่งเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ แม้ว่าจะมีในปริมาณน้อย นอกจากนี้ยังสามารถสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์และถ่ายทอดมายังคนที่บริโภคสัตว์เหล่านั้นด้วย
- สารกำจัดศัตรูพืช (pesticides) สารกำจัดศัตรูพืช คือสารเคมีที่ใช้ในกิจกรรมการเกษตรต่างๆ เช่นสารกำจัดแมลงศัตรูพืช (insecticide) สารเคมีปราบวัชพืช (herbicide) และสารกำจัดเชื้อรา (fungicide) เป็นต้น สารเหล่านี้จะมีพิษแตกต่างกันไป บางชนิดสลายได้เร็ว บางชนิดก็สลายได้ช้าและสะสมในสิ่งแวดล้อม

(3) ลักษณะทางชีวภาพ

ลักษณะของน้ำเสียทางชีวภาพ หมายถึงการที่น้ำมีสิ่งมีชีวิตที่เป็นภัยต่อมนุษย์ ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ จุลินทรีย์หรือเชื้อโรค เช่น รา แบคทีเรีย โปรโตซัว และไวรัส ซึ่งทำให้มนุษย์เป็นโรคได้ โดยทั่วไปจะใช้แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคอลโคลิฟอร์ม (Coliform bacteria and Fecal Coliform Bacteria) เป็นตัวบ่งชี้ว่าแหล่งน้ำนั้นมีการปนเปื้อนอุจจาระของคนและสัตว์ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค

แนวพระราชดำริเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย

(สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2549)

(1) น้ำดีไล่น้ำเสีย

เป็นวิธีการใช้น้ำที่มีคุณภาพดีช่วยผลักดันน้ำเน่าเสียออกไป และช่วยให้น้ำเน่าเสียเจือจางลง พระราชดำรินี้ได้นำมาแก้ไขปัญหาน้ำเน่าเสีย ในคลองของกรุงเทพมหานคร โดยใช้น้ำจากแม่น้ำเจือจางน้ำเน่าเสีย และชักพาสิ่งสกปรกจากคลองต่างๆ ทำให้คลองสะอาดขึ้นได้เป็นอย่างดี

> "การจัดระบบควบคุมระดับน้ำในคลองสายต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดระบบน้ำในกรุงเทพมหานครนั้น สมควรวางระบบให้ถูกต้องตามสภาพการณ์และลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งควรแบ่งเป็น 2 แผนด้วยกัน คือ แผนสำหรับใช้ในฤดูฝนหรือฤดูน้ำมาก เพื่อประโยชน์ในการป้องกันน้ำท่วม และเพื่อบรรเทาอุทกภัยเป็นสำคัญ แผนการระบายน้ำในฤดูแล้งนั้นก็ต้องจัดอีกแบบหนึ่งต่างกันไป เพื่อการกำจัดหรือไล่น้ำเน่าเสียออกจากคลองเป็นหลัก ซึ่งทั้งสองระบบนี้ ควรพิจารณาถึงวิธีการระบายน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกให้มากที่สุด ทั้งนี้ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการควบคุมระดับน้ำตามลำคลองเหล่านี้"

(2) เครื่องกรองน้ำธรรมชาติ

เป็นการใช้ผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชที่ต้องการกำจัดอยู่แล้ว มาทำหน้าที่ดูดซับความสกปรก รวมทั้งสารพิษจากน้ำเน่าเสีย โดยทรงใช้หลักอธรรมปราบอธรรม และทรงเปรียบเทียบบึงมักกะสันเป็นเสมือน "ไต" ของกรุงเทพมหานคร เป็นสถานที่

กำจัดสิ่งสกปรกในน้ำเน่าเสียที่ไหลตามคลองสามเสน ให้ผ่านกรองโดยธรรมชาติให้เป็นน้ำที่มีคุณภาพดีขึ้น แล้วระบายออกไปยังคลองสามเสน และคลองแสนแสบ

> "ในกรุงเทพฯ ต้องมีพื้นที่หายใจ แต่ที่นี่เราถือเป็นไตกำจัดสิ่งสกปรกและโรค สวนสาธารณะถือว่าเป็นปอด แต่นี่เป็นเหมือนไตฟอกเลือด ถ้าไตทำงานไม่ดีเราตาย อยากให้เข้าใจหลักของความคิดอันนี้"

(3) สระเติมอากาศชีวภาพบำบัด

ทรงใช้ระบบการจัดการน้ำเสียโดยใช้เครื่องจักรกลเติมอากาศเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งใช้ออกซิเจนตามธรรมชาติจากพืชน้ำ และสาหร่าย แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ บ่อบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ (aerated lagoon) โดยได้นำมาทดลองใช้ที่บึงพระราม 9 ซึ่งเป็นบึงขนาดใหญ่อยู่ใจกลางกรุงเทพมหานคร เพื่อให้แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยปฏิกิริยาแบบการให้ออกซิเจนต่อเนื่อง จากนั้นจะไหลไปยังบ่อกึ่งไร้อากาศเพื่อบำบัดสารอินทรีย์ที่หลงเหลือในบ่อน้ำ เมื่อน้ำใสแล้วจะระบายน้ำทิ้งลงคลองลาดพร้าวตามเดิม ผลปรากฏว่าคุณภาพน้ำในคลองดีขึ้น

(4) การผสมผสานระหว่างพืชน้ำกับระบบเติมอากาศ

ใช้ธรรมชาติผสมผสานกับเทคโนโลยี โดยการสร้างบ่อดักสารแขวนลอย ปลูกต้นกกอียิปต์ เพื่อใช้ดับกลิ่น และปลูกต้นผักตบชวา เพื่อดูดสิ่งสกปรกและโลหะหนัก ต่อจากนั้นใช้กังหันน้ำชัยพัฒนา และแผงท่อเติมอากาศให้กับน้ำเสียตามความเหมาะสม ตลอดจนให้ตกตะกอนก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำ โดยนำมาทดลองที่หนองโสน จังหวัดสกลนคร ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่าคุณภาพน้ำในหนองโสนใสและสะอาดยิ่งขึ้น

(5) หลักธรรมชาติ บำบัดธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อบำบัดและพืชน้ำประกอบด้วยระบบ 4 ระบบ คือ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย ระบบบ่อชีวภาพ ระบบหญ้ากรอง และระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ป่าชายเลน พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงนำหลักธรรมชาติเหล่านี้ มาใช้กับธรรมชาติ

> "อย่างที่บอกว่าเอาน้ำเสียมาใช้ในการ ทำการเกษตรกรรมทำได้ แต่ที่ทำนั้นต้องมีสัก 5,000 ไร่ ขอให้ผู้เชี่ยวชาญต่างๆ มาช่วยร่วมกันทำ ทำได้แน่"

และได้พระราชทานแนวทางหรือวิธีการว่า

> "ทางใต้ออสเตรเลียมีโครงการเอาน้ำเสียนี้ไปใส่ในคลองแล้วใส่ท่อไปใกล้ทะเล แล้วทำเป็นสระ เป็นบ่อใหญ่มาก เป็นพื้นที่ตั้งเป็นร้อยไร่หลายร้อยไร่ เขาก็ไปทำให้น้ำนั้นหายสกปรก แล้วก็เทลงทะเล"

ตัวอย่างเช่น โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก พระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

(6) การเติมอากาศ โดยใช้กังหันน้ำชัยพัฒนา

ต้นแบบเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย หรือ "กังหันน้ำชัยพัฒนา" ซึ่งมีใบพัดเคลื่อนน้ำและซองรับน้ำไปสาดกระจายเป็นฝอย เพื่อให้สัมผัสอากาศได้อย่างทั่วถึง เป็นผลให้ออกซิเจนในอากาศสามารถรวมละลายเข้าไปในน้ำได้อย่างรวดเร็ว และในช่วงที่น้ำเสียถูกยกขึ้น มากระจายสัมผัสกับอากาศตกลงไปยังผิวน้ำ จะทำให้เกิดฟองอากาศจมตามลงไปก่อให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งกังหันชัยพัฒนาแบบนี้จะใช้ประโยชน์ได้ทั้งการเติมอากาศ การกวนแบบผสมผสาน และการทำให้เกิดการไหลตามทิศทางที่กำหนด

"การพัฒนาแหล่งน้ำนั้นในหลักใหญ่คือ การควบคุมน้ำให้ได้ดังประสงค์ ทั้งปริมาณและคุณภาพ กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณน้ำมากเกินไป ก็ต้องหาทางระบายออกให้ทันการ ไม่ปล่อยให้ เกิดความเดือดร้อนเสียหายได้ และในขณะที่เกิดภาวะขาดแคลนก็ต้องมีน้ำกักไว้ใช้เพียงพอ ทั้งมีคุณภาพเหมาะสมแก่การเกษตร การอุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค ปัญหาอยู่ที่ว่าการพัฒนาแหล่งน้ำนั้นอาจมีผลกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อมบ้าง แต่ถ้าไม่มีการควบคุมน้ำที่ดีพอแล้ว เมื่อเกิดภัยธรรมชาติขึ้น ก็จะก่อให้เกิดความเดือดร้อนสูญเสียทั้งในด้าน เศรษฐกิจและชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน ทั่งส่งผลกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรง"

การบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ

เครื่องจักรชีวภาพเป็นอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ (natural treatment) โดยวิธีการปรับสภาพน้ำเสียซึ่งมีสารปนเปื้อนต่างๆ ให้เป็นน้ำที่มีความสะอาดมากขึ้น หรือมีสารปนเปื้อนลดน้อยลง โดยมี น้ำ สารกรอง พืช จุลินทรีย์ และบรรยากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรกลต่างๆ มาบำบัดน้ำเสีย เพราะวิธีนี้อาศัยกลไกทางธรรมชาติมาบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก จึงเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้า และสารเคมี

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติด้วยเครื่องจักรชีวภาพ เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมของดิน พืช สารกรอง และน้ำ

(1) กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการกำจัดมลพิษทางกายภาพเกิดขึ้นจากส่วนต่างๆ ของพืช และตัวกลาง ซึ่งพืชจะเป็นตัวช่วยให้กระแสน้ำไหลช้าลง ทำให้เกิดการตกตะกอนของสารแขวนลอย ส่วนตัวกลางทำหน้าที่เป็นตัวกรองในกระบวนการกรองน้ำเสีย ดังนั้นการกำจัดทางกายภาพจะเป็นการลดอนุภาคแขวนลอยในน้ำเสีย

(2) กระบวนการทางเคมี

ปฏิกิริยาทางเคมีของสสารบางชนิด และของโลหะหนัก สามารถทำให้ตกตะกอนอยู่ในรูปของสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำได้ การผึ่งน้ำเสียกับอากาศและแสงแดดสามารถทำลายสารอินทรีย์ และทำลายเชื้อโรค นอกจากนี้ พืชบางชนิดสามารถขับสารเคมีออกมาทำลายเชื้อโรคที่อยู่ในน้ำเสียได้อีกด้วย

(3) กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการทางชีวภาพเป็นกระบวนการหลักในการกำจัดมลพิษในระบบบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ ซึ่งจำแนกได้เป็น 5 ปฏิกิริยา คือ การสังเคราะห์ (photosynthesis) การหายใจ (respiration) การหมัก (fermentation) การตรึงและสลายไนโตรเจน (nitrification/denitrification) และการกำจัดฟอสฟอรัส (phosphorus removal)

องค์ประกอบของเครื่องจักรชีวภาพ

(1) พืช

พืชที่นำมาปลูกในระบบจะทำหน้าที่ถ่ายเทแก๊สออกซิเจนจากอากาศสู่ลำต้นและออกสู่รากเพื่อเพิ่มแก๊สออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย โดยผ่านทางรากขน (root hair) เรียกบริเวณนี้ว่าไรโซเฟียร์ (rhizophere) และพืชช่วยให้แสงแดดกระทบผิวน้ำน้อยลง เป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายน้ำในทางอ้อม

พืชมีความสำคัญในการนำแร่ธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต ในส่วนของลำต้น ราก และใบของพืชจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ นอกจากนี้พืชยังช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนที่ดีขึ้น

หน้าที่ของพืชในการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ

- ทางกายภาพ

  ต้นพืชที่ขึ้นในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนที่ดีขึ้น เพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างน้ำและจุลินทรีย์ที่เกาะบริเวณผิวของพืช นอกจากนี้พืชที่ปกคลุมยังช่วยลดความเข้มข้นของแสง และอุณหภูมิ

- เป็นพื้นที่สำหรับยึดเกาะของจุลินทรีย์

ส่วนของลำต้นและใบของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชจะมีสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงได้เกาะอยู่หนาแน่น รวมทั้งจุลินทรีย์และโปรโตซัว เช่นดียวกับราก และลำต้นใต้ดิน

- การดูดซับสารอาหารโดยพืช

พืชต้องการสารอาหารในการเติบโตและขยายพันธ์ พืชสามารถดูดสารอาหารจำนวนมากโดยเฉพาะทางราก นอกจากนี้ลำต้นที่อยู่ในน้ำและในส่วนที่มีน้ำล้อมรอบก็ดูดสารอาหารได้เช่นกัน พืชโผล่พ้นน้ำ (emergent plant) จะดูดซับสารอาหารไว้ และจะถูกกำจัดออกไปจากระบบโดยการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่ามีประมาณ 30-150 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์ต่อปี และ 200-2500 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์ต่อปี (Brix and Scierup, 1989) โดยผักตบชวามีอัตราการดูดซับสารอาหารสูงมาก

- การปลดปล่อยทางราก

พืชน้ำสามารถปล่อยออกซิเจนจากรากสู่บริเวณรอบๆ ลำต้นใต้ดินและราก อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนจากราก ขึ้นกับความเข้มข้นของออกซิเจน ความต้องการออกซิเจนของตัวกลางโดยรอบ และความพรุนของผนังราก การซึมของออกซิเจนจากปลายราก ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ และลดการเป็นพิษของสารพิษต่างๆได้ ในบริเวณรอบๆ ลำต้นใต้ดิน พืชที่มีกลไกนำพาออกซิเจน (convection) จะสามารถปลดปล่อยออกซิเจนจากรากได้มากกว่าพืชที่ไม่มีกลไกนี้ นอกจากนี้ระบบรากยังสามารถปล่อยสารอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน เช่น

กก (Bulrush, Schoenopleclus) สามารถปล่อยสารปฏิชีวนะจากราก (Vymazal, 1998) ซึ่งทำลายเชื้อโรคบางอย่างในน้ำเสียได้

สมบัติที่เหมาะสมของพืชที่นำมาปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ (Cizkova-Koncalova et al.,1996; Vymazal and Kropfelova, 2005)

- มีการถ่ายเทออกซิเจนจากลำต้นไปสู่รากได้ดี
- เป็นที่เกาะของจุลินทรีย์
- มีรากยึดติดดินได้ดี
- ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ แม้ในอุณหภูมิต่ำๆ
- ทนทานต่อสภาพน้ำเสียทุกสภาพ
- มีเส้นใยมาก
- เจริญเติบโตเร็วและเป็นกลุ่ม
- ไม่มีวัชชพืชขึ้นปน

(2) ตัวกลาง

ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด หิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป โดยจะใช้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดหรือใช้รวมกันก็ได้ ช่องว่างในชั้นกรองเหล่านี้จะใช้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ นอกจากจะเป็นที่อยู่ของพืชและที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์แล้วชั้นกรองยังเป็นพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบต่างๆ ด้วย ลักษณะทางกายภาพของชั้นกรองก็มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วย ตัวอย่างเช่นชั้นกรองที่เป็นทรายหรือกรวดนิยมนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสีย เพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตัน

ขึ้นกับระบบ และพืชสามารถยึดเกาะได้ง่าย ทั้งนี้ในการออกแบบจะต้องเลือกชนิดของตัวกรองให้เหมาะสม เนื่องจากตัวกรองแต่ละชนิด มีค่าที่ยอมให้น้ำผ่านได้แตกต่างกัน ในการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ เลือกตัวกรองที่เป็น หินภูเขาไฟขนาดต่างๆ และถ่าน เนื่องจากมีน้ำหนักเบา และโครงสร้างมีรูพรุนสูง

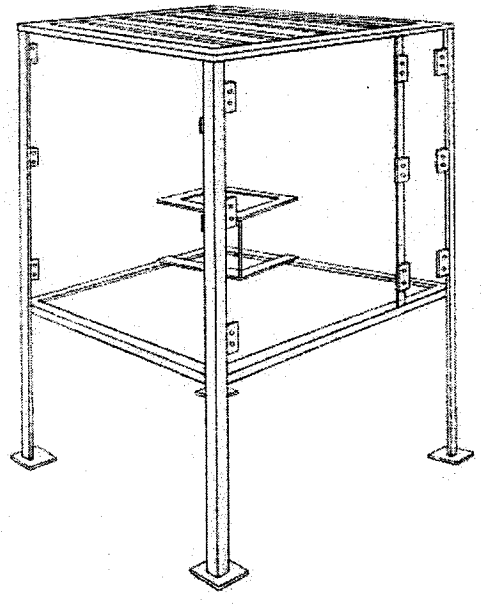
(3) จุลินทรีย์

โดยทั่วไปจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหาร และพลังงานสำหรับการดำรงชีพ ซึ่งแหล่งพลังงานหลักของจุลินทรีย์คือสารอินทรีย์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในระบบเครื่องจักรชีวภาพแบ่งชนิดของแบคทีเรียได้เป็น 2 ชนิด คือ

- แบคทีเรียชนิดแขวนลอย (suspended-growth bacteria) คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโต และอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำของระบบ
- แบคทีเรียชนิดเกาะติด (attached-growth bacteria) คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช (ราก, ลำต้น) หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรง

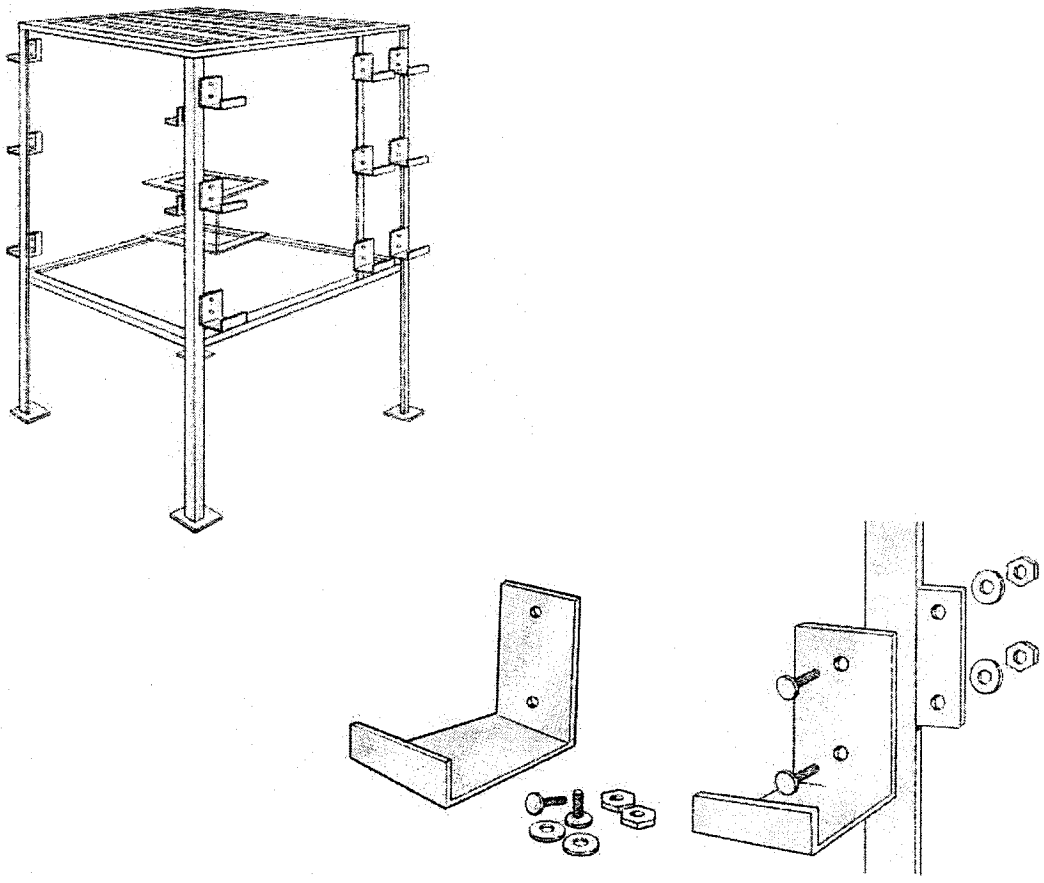
ขั้นตอนการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ

(1) นำเหล็กฉากขนาด 3.81 เซนติเมตร (1.50 นิ้ว) x 0.60 เซนติเมตร มาประกอบเป็นโครงสร้างขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.0 x 1.0 x 1.56 เมตร ด้านบนรองรับถังน้ำเสีย ความจุ 550 ลิตร ความสูงของถัง 1.25 เมตร ดังรูปที่ 5



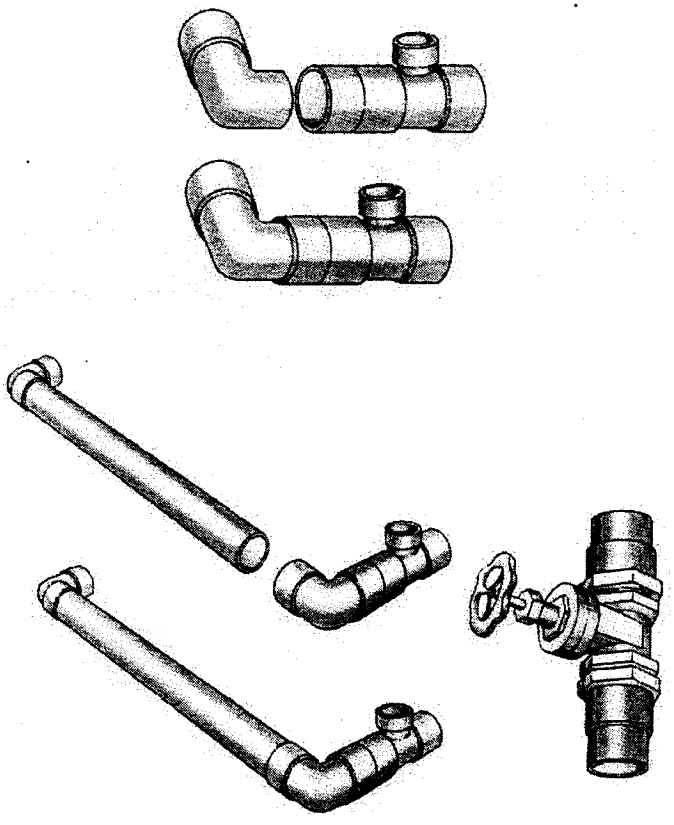
รูปที่ 5 โครงสร้างเหล็กฉากขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.0 x 1.0 x 1.56 เมตร

(2) ด้านข้างของโครงเหล็ก แบ่งเป็น 3 ชั้น โดยใช้แผ่นเหล็กรูปตัวแอล ยึดติดกับโครงสร้างเหล็ก เพื่อใช้เป็นฐานสำหรับวางท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) ส่วนด้านในของโครงสร้างทำฐานสำหรับวางปั๊มน้ำ ขนาด 0.5 แรงม้า ดังแสดงในรูปที่ 6



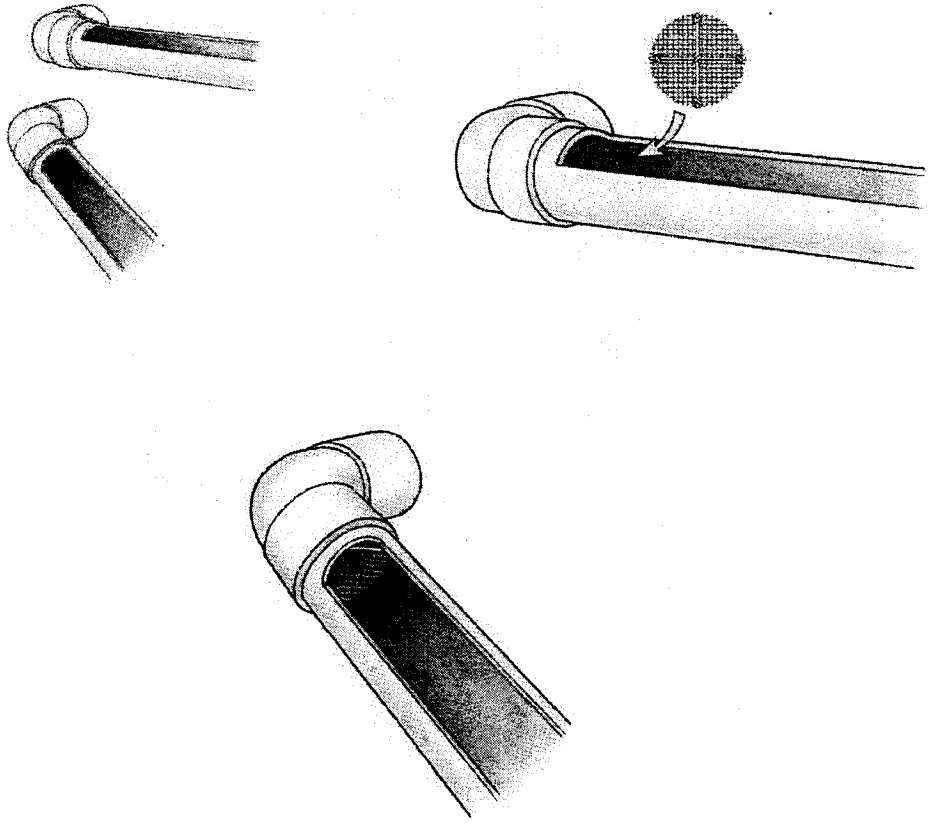
รูปที่ 6 ด้านข้างและด้านในโครงสร้างเหล็กฉากทำที่ยึดสำหรับวางท่อพีวีซีและปั๊มน้ำ

(3) นำชิ้นส่วนของท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) และวาล์วน้ำมาประกอบกันดังรูปที่ 7



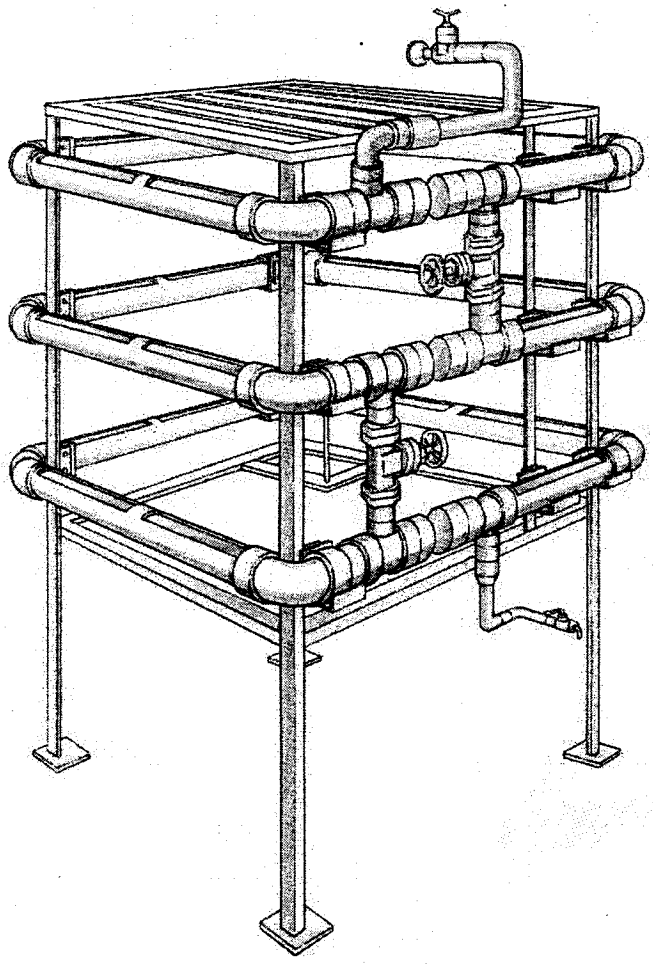
รูปที่ 7 ประกอบชิ้นส่วนของท่อพีวีซี และวาล์วน้ำ

(4) นำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) มาผ่าให้เป็นช่องว่างความกว้าง 7 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร และใส่ตาข่ายตรงบริเวณทางน้ำออก ป้องกันไม่ให้สารกรองตกลงไปตรงวาล์วน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 8



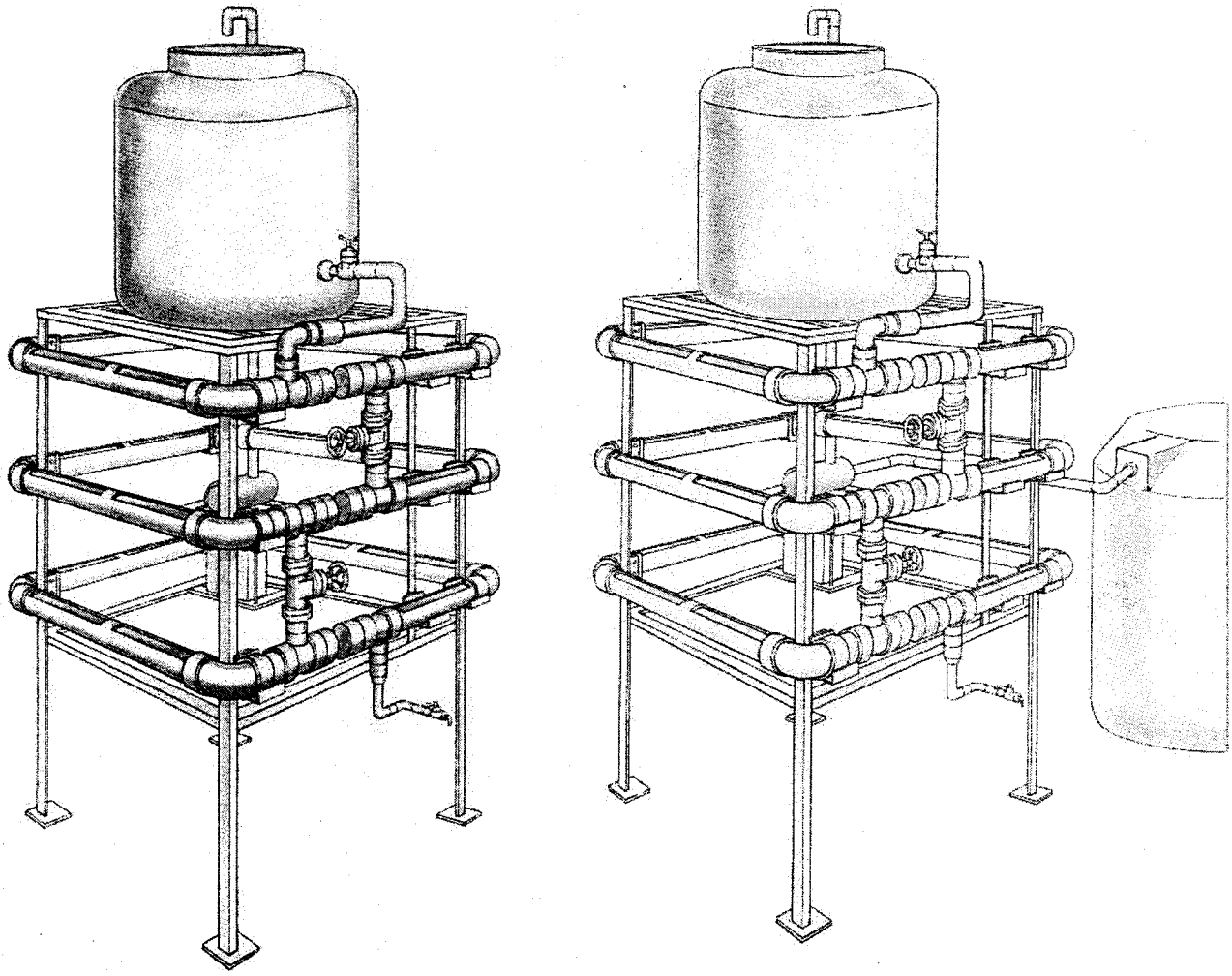
รูปที่ 8 ท่อพีวีซีผ่าให้เป็นช่องว่าง และใส่ตาข่ายตรงบริเวณทางน้ำออก

(5) วางท่อพีวีซี บนฐานเหล็กรูปตัวแอล ดังแสดงในรูปที่ 9



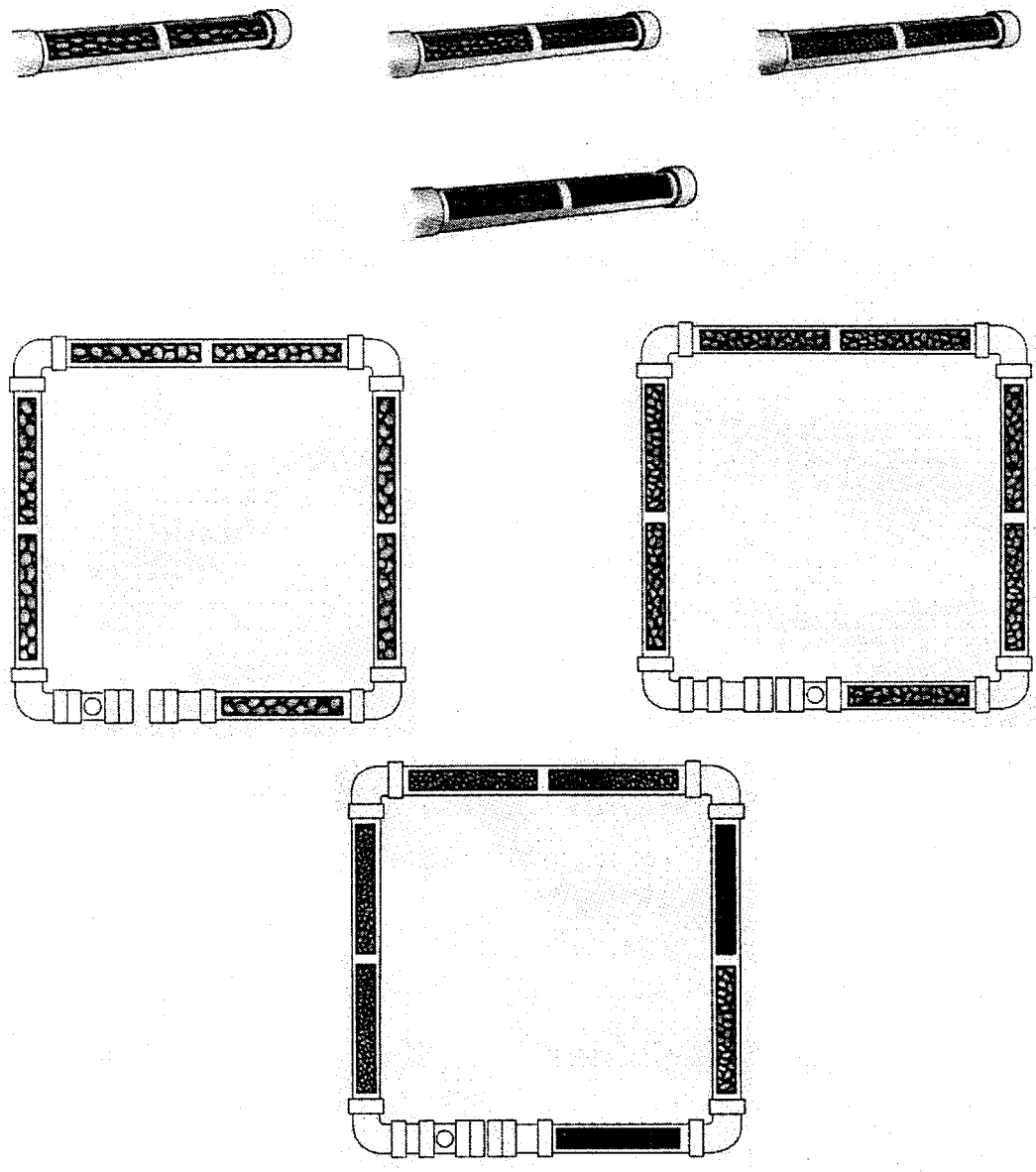
รูปที่ 9 โครงสร้างเหล็กประกอบกับรางพีวีซี

(6) ติดตั้งถังพักน้ำเสีย (PE) ขนาด 550 ลิตร ไว้ด้านบนของโครงสร้างเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 10 ใช้ลูกลอยเป็นตัวควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ เพื่อไม่ให้ปั๊มน้ำทำงานตลอดเวลา



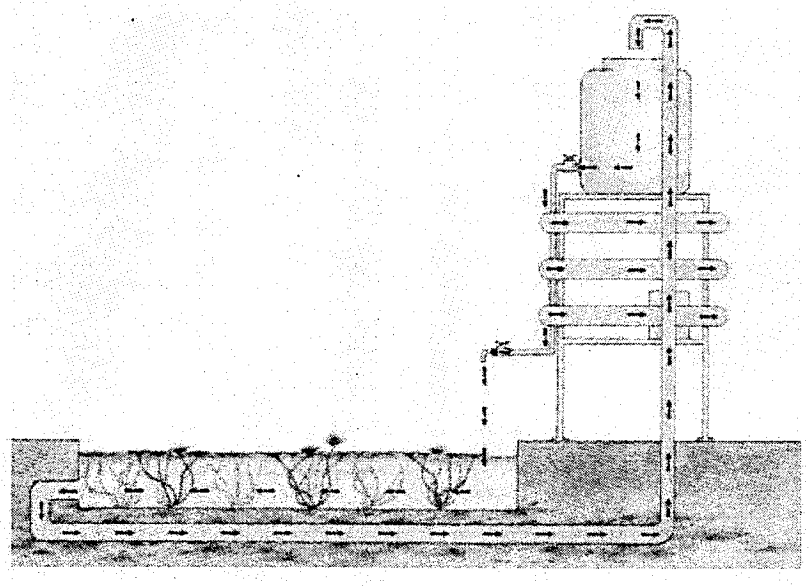
รูปที่ 10 โครงสร้างเครื่องจักรชีวภาพขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.0 x 1.0 x 2.8 เมตร

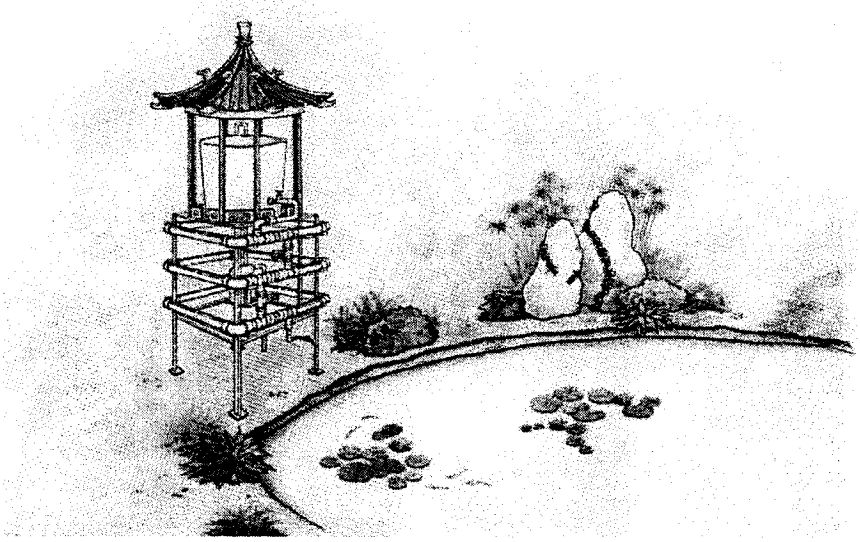
(7) บรรจุตัวกรองลงในรางพีวีซี โดยชั้นบนสุดใช้หินภูเขาไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.00 เซนติเมตร ชั้นกลางบรรจุหินภูเขาไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.64 เซนติเมตร ส่วนชั้นล่างสุด ครึ่งหนึ่งบรรจุหินภูเขาไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.00 เซนติเมตร อีกครึ่งหนึ่งบรรจุถ่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.00 เซนติเมตร ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 บรรจุตัวกรองขนาดต่างๆ ลงในรางพีวีซี

(8) เครื่องจักรชีวภาพที่ประกอบเสร็จแล้ว



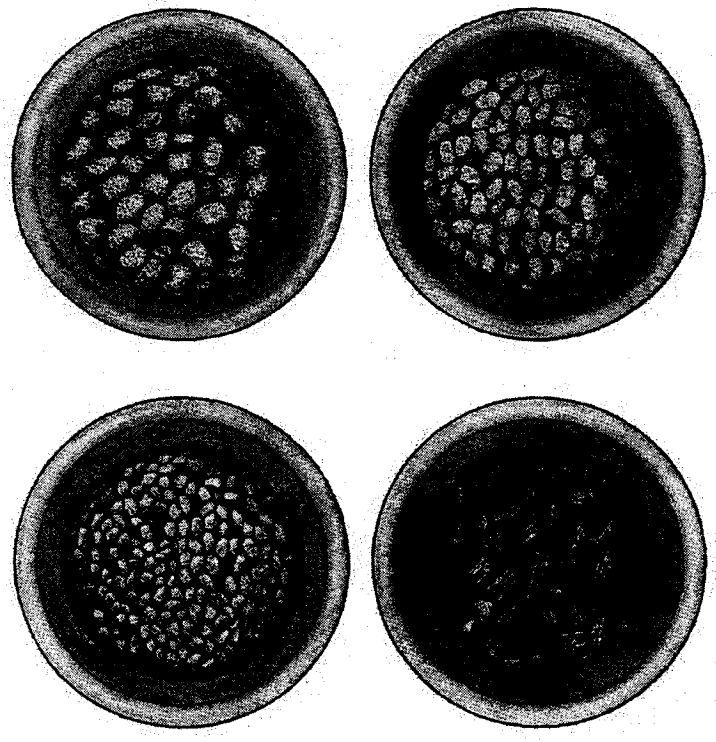


รูปที่ 12 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ

ขั้นตอนการเตรียมระบบ

(1) การเตรียมตัวกลาง

ตัวกลางที่ใช้เป็นหินภูเขาไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เซนติเมตร 1.64 เซนติเมตร และ 3.00 เซนติเมตร ถ่านขนาดประมาณ 1.00 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดก่อนนำใส่ลงในรางพีวีซี โดยบรรจุตัวกรองจนถึงระดับความสูง 7.5 เซนติเมตร ของรางท่อพีวีซี



รูปที่ 13 ตัวกรองหินภูเขาไฟ และถ่าน

(2) การเตรียมพืชเพื่อปลูกในรางพีวีซี

คัดเลือกพืชน้ำ ตัวอย่างเช่น ผักตบชวา จอก ผักบุ้ง พลูด่าง และแว่นแก้ว เป็นต้น โดยสามารถเลือกพืชน้ำชนิดอื่นที่หาง่าย สามารถพบได้ในท้องถิ่น เจริญเติบโตได้เร็ว โดยมีรายงานผลการวิจัย พบว่าผักตบชวา จอก ผักบุ้ง และแว่นแก้ว สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนพืชบางชนิดเช่น พลูด่าง นอกจากมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังช่วยในการปรับปรุงภูมิทัศน์ และปรับปรุงคุณภาพอากาศโดยรอบด้วย ดร. บี ซี วูฟเวอร์ตัน (Dr. B.C. Wolverton) นักวิจัยแห่งสถาบันวิจัยอวกาศนาซ่า ทดลองหาวิธีนำต้นไม้ไปใช้ปรับปรุงคุณภาพอากาศในยานอวกาศซึ่งมีพื้นที่จำกัด ปรากฏว่าสามารถทำหน้าที่ในการฟอกอากาศและกำจัดมลภาวะจากสารเคมีที่เป็นพิษที่มีอยู่ในอากาศ ต้นไม้ต่างชนิดกัน จะดูดซับสารเคมีในอากาศแตกต่างกัน ไม่แต่เพียงสารพิษในอากาศเท่านั้น ต้นไม้ยังสามารถดูดซับเอามลภาวะจากน้ำผ่านทางรากของมันได้ (Wolverton,B.C., 2008) โดยพลูด่างเป็นต้นไม้ชนิดหนึ่ง ที่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในให้ดี ขึ้น และรักษาระดับบรรยากาศภายในให้คงที่สม่ำเสมอ ช่วยรักษาประจุไฟฟ้าลบในอากาศ ช่วยกำจัดกลิ่น ช่วยรักษาความชุ่มชื้นในอากาศ โดยกระบวนการคายน้ำของมัน ช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่อากาศ และช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในการปลูกพืชไม่ควรปลูกพืชแน่นมากเกินไป ควรมีพื้นที่ว่างให้อากาศและแสงแดดส่องถึงผิวน้ำด้วย

วัสดุและราคาในการสร้างเครื่องจักรชีวภาพ

เครื่องจักรชีวภาพ มีขนาดโดยรวมกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 1 x 2.8 เมตร น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบ 720 ลิตรต่อวัน โดยเป็นส่วนของถังพักน้ำด้านบนความสูงประมาณ 1 เมตร และส่วนของรางรับน้ำเสียทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) นำมาเปิดทำเป็นรางบรรจุตัวกรอง พืชน้ำ และรับน้ำเสีย แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ตามระดับความสูง ชั้นบนสุดบรรจุตัวกรองหินภูเขาไฟขนาดประมาณ 3.00 เซนติเมตร ชั้นที่สองบรรจุตัวกรองหินภูเขาไฟขนาดประมาณ 1.64 เซนติเมตร และชั้นล่างสุด บรรจุตัวกรองหินภูเขาไฟขนาดประมาณ 1.00 เซนติเมตร และถ่านขนาดประมาณ 1.00 เซนติเมตร บรรจุตัวกรองที่ความลึกประมาณ 7.5 เซนติเมตร สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 720 ลิตรต่อวัน โดยวัสดุและราคาในการสร้างเครื่องจักรชีวภาพ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วัสดุและราคาในการสร้างเครื่องจักรชีวภาพ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคาที่ประมาณต่อหน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	เหล็กฉาก (1.5นิ้ว x 6มิลลิเมตร x 3เมตร)	10 เส้น	488	4880
2	ท่อพีวีซี (4นิ้ว x 4เมตร)	4 เส้น	400	1600
3	ท่อพีวีซี (1นิ้ว x 4เมตร)	2 เส้น	70	140
4	ข้องอ (4นิ้ว)	12 อัน	70	840
5	ฝาครอบ (4นิ้ว)	6 อัน	50	300
6	สามทาง (4นิ้ว ลด 2นิ้ว)	3 อัน	105	315
7	ประตูน้ำ (2นิ้ว)	4 อัน	700	2800
8	ข้อต่อเกลียวนอก (2นิ้ว)	8 อัน	18	144
9	แผ่นเหล็กรูปตัวแอลสำหรับรับรางพีวีซี	24 อัน	200	4800
10	ตาข่ายพลาสติก	1เมตร	50	50
11	ลูกลอย	1ชุด	600	600
12	ถังน้ำพีอี 550 ลิตร	2 ถัง	5500	11000
13	ปั๊มน้ำ 0.5 แรงม้า	1ชุด	3500	3500
14	สีกันสนิม	1แกลลอน	580	580
15	ซิลิโคนขาว	3หลอด	150	450
16	เทปพันเกลียว	3ม้วน	30	90
17	น้ำยาประสานท่อ	1กระป๋อง	120	120
18	หินภูเขาไฟ	10 ถุง	60	600
19	ถ่านไม้	3ถุง	35	105
	จำนวนเงินรวม			32914
	ภาษีมูลค่าเพิ่ม / VAT 7%			2303.98
	จำนวนเงินรวมทั้งสิ้น			35217.98
	(สามหมื่นห้าพันสองร้อยสิบเจ็ดบาทเก้าสิบแปดสตางค์)			

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพ

ปั๊มน้ำ มีขนาด 0.5 แรงม้า หรือคิดเป็น 0.4 Kw

การสูบน้ำเสีย ปริมาตร 500 ลิตรขึ้นบนถังด้านบนใช้เวลา 15 นาที หรือคิดเป็น เวลา 30 นาที ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้นค่าไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

= 0.4 kw/ชั่วโมงการทำงานxอัตราค่าไฟฟ้า

= 0.4 kw x 0.5x 4)

= 0.80 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ในการบำบัดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ด้วยเครื่องจักรชีวภาพ มีค่าใช้จ่ายด้านค่าไฟฟ้า 0.80 บาท

กลไกการบำบัดน้ำเสียของเครื่องจักรชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียของเครื่องจักรชีวภาพ มีทั้งกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งทำงานสัมพันธ์กัน โดยมีกลไกหลักได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Biochemical conversion) การตกตะกอนและการกรอง (Sedimentation and filtration) การสะสมในชั้นตัวกรอง (Accretion) การระเหย (Volatilization) การดูดซับโดยพืชและผิวตัวกรอง (Adsorption) และการสะสมในพืช (plant uptake) โดยการบำบัดมลสารแต่ละชนิดจะใช้กลไกหลายๆ อย่างร่วมกัน ได้แก่

(1) สารอินทรีย์ กลไกที่ใช้ในการบำบัด คือการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และการตกตะกอน โดยแหล่งของออกซิเจนสำหรับจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งได้จากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำ และส่วนหนึ่งได้จากการลำเลียงผ่านำปยังส่วนของรากพืช

(2) ของแข็งแขวนลอย กลไกที่ใช้ในการบำบัด คือการตกตะกอนและการกรอง

(3) ไนโตรเจน กลไกที่ใช้ในการบำบัด คือ กระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น และไนทริฟิเคชั่น

(4) ฟอสฟอรัส กลไกที่ใช้ในการบำบัดคือ การดูดซับโดยตัวกรอง และการสะสมในพืช

(5) เชื้อโรค ถูกทำลายด้วยแสงแดด

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรชีวภาพ

(1) เครื่องจักรชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบกลไกการกำจัดของเสียตามธรรมชาติ อาศัยตัวกรอง น้ำ พืช และจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียของน้ำ เป็นวิธีการทางธรรมชาติ เสียค่าใช้จ่ายน้อย ไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการดูแลรักษาระบบ และช่วยเพิ่มทัศนียภาพที่สวยงามให้กับพื้นที่

(2) เครื่องจักรชีวภาพ มีขนาดโดยรวมกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.0 x 1.0 x 2.8 เมตร น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบ 720 ลิตรต่อวัน โดยเป็นส่วนของถังพักน้ำด้านบนความสูงประมาณ 1.25 เมตร และส่วนของรางรับน้ำเสียทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) นำมาเปิดทำเป็นรางบรรจุตัวกรองพืชน้ำ และรับน้ำเสีย โดยออกแบบลักษณะของการวางรางรับน้ำเสีย ให้วางขนานกับพื้นแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ตามระดับความสูง ชั้นบนสุดบรรจุตัวกรองหินภูเขาไฟขนาดประมาณ 3.00 เซนติเมตร ชั้นที่สองบรรจุตัวกรองหินภูเขาไฟขนาดประมาณ 1.64 เซนติเมตร และชั้นล่างสุด บรรจุตัวกรองหินภูเขาไฟขนาดประมาณ 1.00 เซนติเมตร และถ่านขนาดประมาณ 1.00 เซนติเมตร ทำให้ระดับน้ำในรางไหลสม่ำเสมอ สามารถควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำได้ ตลอดจนการที่ตัวกรองแยกจากกันในแต่ละชั้นทำให้ดูแลรักษาความสะอาดได้ง่าย ค่าก่อสร้างเครื่องจักรชีวภาพต้นแบบประมาณ 35,200.00 บาทต่อ 1 ชุด และอัตราค่าไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียโดยเครื่องจักรนี้ประมาณ 0.80 บาทต่อปริมาณน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

(3) อัตราการไหลของน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ ตลอดจนประสิทธิภาพของระบบยังขึ้นกับช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำ เนื่องจากแต่ละช่วงเวลาจะมีอุณหภูมิต่างกัน จากการทดลอง ณ เวลาเก็บน้ำ ที่ 15.00 น. ที่อัตราเร็วของน้ำ 0.5 ลิตรต่อนาที จะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด รองลงมาเป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที โดยสามารถกำจัดบีโอดีได้ร้อยละ 55.90 ±2.69,

43.24±1.03, 29.07±0.80, และ 28.57±0.82 ตามลำดับ และปรับสภาพพีเอชของน้ำได้ร้อยละ -10.26±0.45, -9.87±0.21, -7.63±0.15 และ -6.60±0.23 ตามลำดับ

(4) เครื่องจักรชีวภาพที่มีการปลูกพืชร่วมด้วยมีประสิทธิภาพในการบำบัด บีโอดี ซีโอดี ความนำไฟฟ้า ความขุ่น ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งละลาย ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณไนเทรต สูงกว่าการใช้ตัวกรองโดยไม่ปลูกพืช อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นการปรับสภาพพีเอชของน้ำ ที่ให้ผลไม่แตกต่างกัน

(5) จากการคัดเลือก ผักตบชวา จอก แว่นแก้ว ผักบุ้ง และพลูด่าง มาใช้เป็นพืชในการบำบัดน้ำเสียในเครื่องจักรชีวภาพ พบว่าชนิดพืชที่ปลูกมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ โดยผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยรวมสูงที่สุด รองลงมาเป็น จอก แว่นแก้ว ผักบุ้ง และพลูด่าง ตามลำดับ

(6) ค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยระบบจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่พีเอชน้ำเสียเป็นกลาง

(7) ค่าความสกปรกของน้ำเสียก่อนบำบัดมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องจักรชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ น้ำเสียที่มีความสกปรกน้อยระบบจะมีประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมสูงกว่า

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องจักรชีวภาพ

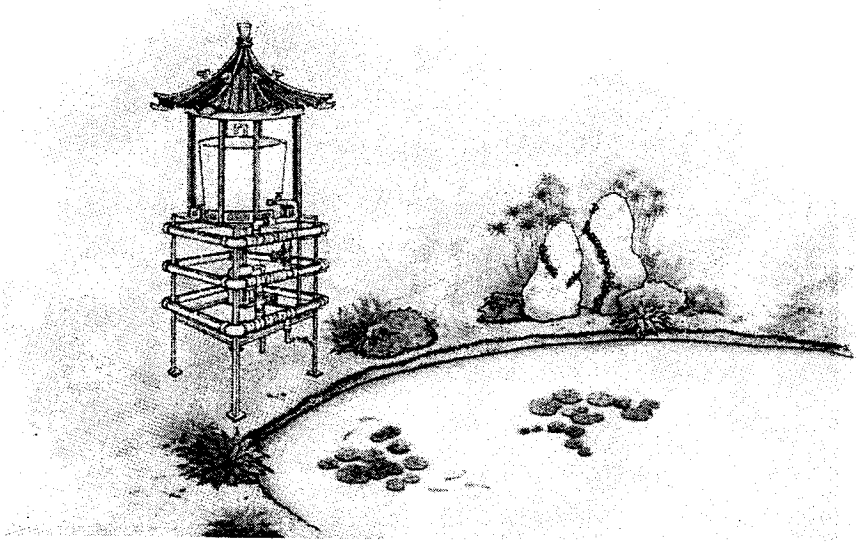
(1) ศึกษาระยะเวลาเก็บเกี่ยวพืชแต่ละชนิด เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน แล้วหลังจากนั้นการดูดสารอาหารของพืชก็จะลดลงตามระยะเวลาเช่นกัน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรชีวภาพเริ่มลดลง

(2) ศึกษาระยะเวลาที่ควรทำความสะอาดสารกรอง

(3) ค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากเครื่องจักรชีวภาพ ในการบำบัด 1 ครั้ง ยังมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้ง เนื่องจากระยะเวลาที่น้ำอยู่ในระบบน้อยเกินไป ดังนั้นในการเพิ่มประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดี ทำได้โดยการลดอัตราการไหล การเพิ่มระยะทางของรางรับน้ำ ตลอดจนการหมุนเวียนน้ำกลับมาบำบัดซ้ำ

(4) วิเคราะห์การเจริญเติบโต ทั้งความสูงของลำต้น ความยาวของราก น้ำหนักแห้ง ปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟต ตามส่วนต่างๆ ของพืช

(5) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องจักรชีวภาพในการบำบัดน้ำในสระ สวนธารณะ หรือบ่อเลี้ยงปลาตามแบบดังรูป



สรุป

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติ ในปัจจุบันนิยมนำพืชมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียมากขึ้น โดยพืชจะดูดซับและนำแร่ธาตุอาหารในน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และช่วยเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ โดยส่งผ่านมาทางรากพืช ทำให้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนสามารถทำงานได้มากขึ้น ทำให้ค่าบีโอดีของน้ำลดลง

สรุปองค์ประกอบโดยรวมของเครื่องจักรชีวภาพ

(1) โครงสร้างของระบบบำบัด

(2) หินภูเขาไฟ ถ่าน ทำหน้าที่ค้ำจุนให้พืชเจริญเติบโต เป็นที่เกาะติดของจุลินทรีย์ และเป็นตัวกรอง

(3) พืชน้ำ รากของพืชน้ำเป็นที่เกาะติดของจุลินทรีย์ พืชน้ำสามารถให้ออกซิเจนกับน้ำเสียได้โดยพืชน้ำมีความสามารถดึงออกซิเจนจากอากาศผ่านทาง ใบ หรือกาบใบลงสู่ระบบรากได้

(4) จุลินทรีย์ เกาะติดอยู่กับตัวกรองและรากพืช

เมื่อน้ำเสียไหลเข้าสู่รางรับน้ำเสีย สารอินทรีย์ และสารแขวนลอยส่วนหนึ่งจะตกตะกอนจมตัวลงด้านล่างของรางรับน้ำเสีย และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำ หรือชั้นหิน และจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ระบบนี้จะได้รับออกซิเจนจากการแทรกซึมของอากาศผ่านผิวน้ำ หรือชั้นหินภูเขาไฟลงมา เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ลึกมาก และหินภูเขาไฟมีความพรุนสูง ทำให้อากาศแทรกซึมผ่านได้ทั่วทั้งระบบ ออกซิเจนบางส่วนได้จากการสังเคราะห์แสง การลดปริมาณไนโตรเจนเป็นไปกระบวนการไนตริฟิเคชั่น การลดปริมาณฟอสฟอรัสเกิดจากการดูดซับด้วยตัวกรอง และพืชน้ำจะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์

บรรณานุกรม

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554. คุณภาพน้ำผิวดิน. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2552. กรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพฯ: บริษัมบีทีเอส เพรส จำกัด.

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2549. หลักการทรงงานในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว 60 ปี ครองราชย์ ประโยชน์สุข ประชาราษฎร์. กรุงเทพฯ

Brix, H., and Schierup, H. 1989. Sewage treatment in constructed reed beds-Danish experiences. Water Science and Technology,21.

Cizkova-Koncalova, H., Kvet, J., Lukavaka, J. 1996. Response of *Phragmites aystralis*, Glyceria maxima and Typha latifolia to addition of piggert sewage in a flooded sand culture. Wetlands Ecol. Manage. 4: 43-50.

Greater Johannesberg Metropolitan Council. 2011. Pollution analysis. www.ceroi.net

http://lpschool.maeklong.org/wbi%20water/page8.htm

Ministry of environmental of Korea. 2011. Why is the water quality bad? www.eng.go.kr.

Vymazal J. 1998. Constructed wetland for wastewater treatment in Europe: Removal mechanisms and types of constructed wetland. Backhuys Publishers. 17-16.

Vymazal, J. 2002. The Use of Subsurface Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in the Czech Republic: 10 Years Experience. Ecol Eng, 18: 633-646.

Wolverton, B.C. 2008. How to grow fresh air: 50 Houseplants that purify your home or office. London, George Weiderfeld&Nicolson Ltd.

คณะผู้จัดทำ

คู่มือการบำบัดน้ำเสียอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยเครื่องจักรชีวภาพ

คณะผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ขนิษฐา เจริญลาภ	หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทร์มณี	ผู้ร่วมโครงการ
นายจิระพล กลิ่นบุญ	ผู้ร่วมโครงการ
นายชัยวัฒน์ ทีฆาวนิช	ผู้ร่วมโครงการ

ผู้วาดภาพประกอบเครื่องจักรชีวภาพ

นายกมลภัทร์ รักสวน

ติดต่อสอบถามเพิ่มเติม

คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร

กรุงเทพฯ 10120

โทรศัพท์ 0-22979600 ต่อ 2165

E-mail: Khanittha.C@rmutk.ac.th